

図 6 最大衝撃力

「*」は「試験片なし」の条件との有意差を示す。
(* : P<0.05, ** : P<0.01)

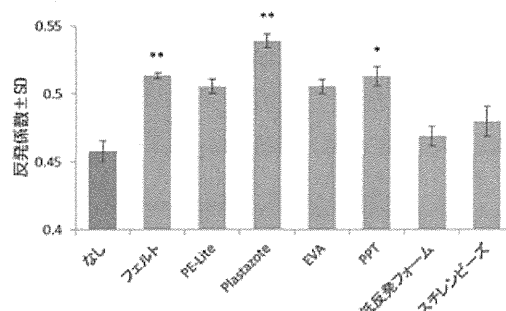


図 7 反発係数

「*」は「試験片なし」の条件との有意差を示す。
(* : P<0.05, ** : P<0.01)

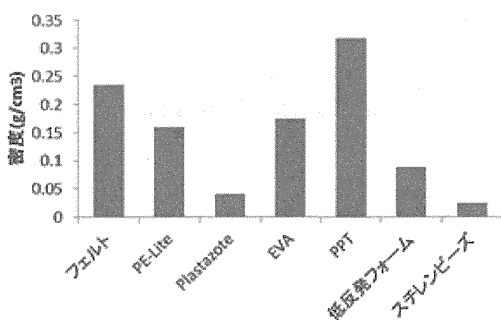


図 8 密度

一般に、衝撃力の波形特性を評価する場合には、①最大衝撃力、②最大衝撃力到達時間、③衝撃継続時間、④荷重速度、⑤衝撃関数の形状、⑥力積などが指標として用いられるが^{10, 11)}、人体への衝撃減衰能を評価する指標としては最大衝撃力が用いられることが多い^{12, 13)}。本研究においても、ゴルフボール衝突時におけるプロテクターを介して選手に伝わる衝撃力を比較することが目的であり、最大衝撃力を評価の指標として、床反力計で計測したピーク値を最大衝撃力とし、反発係数は計測した跳ね返り角度から算出した。

軽量性を比較するため、各試験片の重量を体積で除し、密度の算出を行った。最大衝撃力と反発係数については、統計ソフト SPSS Statistics 21 (日本 IBM) を用いて

Kruskal-Wallis 検定およびペアごとの比較を行った。

2-2. 結果

各試験片における最大衝撃力、反発係数をそれぞれ図 6、図 7 に示す。最大衝撃力はスチレンビーズ、PPT、低反発フォーム、フェルトの順に低い値を示し、反発係数は低反発フォーム、スチレンビーズ、PE-Lite、EVA の順に低い値を示した。スチレンビーズと低反発フォームが最大衝撃力、反発係数ともに低い値を示し、ゴルフボール衝突時の衝撃吸収性や低反発性に優れていることが示唆された。密度はスチレンビーズ、Plastazote、低反発フォームの順に低く、特にスチレンビーズは低反発フォームの 3 倍以上低い値を示した (図 8)。最大衝撃力

と反発係数との Spearman の順位相関係数は $r=-0.16$ で、相関はみられなかった。

以上の結果をまとめると、衝撃力、反発係数ともにスチレンビーズと低反発フォームが低い値を示したが、密度はスチレンビーズが低反発フォームに比べ約 3 倍低い値を示した。

2-3. 考察

スチレンビーズと低反発フォームは衝撃吸収性および低反発性に優れた値を示した。発泡樹脂の試験片のうち低反発フォームが優れた値を示したのは、低反発フォームが独立気泡ではなく特殊な連続気泡を有しており、ゴールボール衝突時の弾性つまり気泡内の気体圧縮及び復元が発生しにくい性質によると考えられる。スチレンビーズが優れた値を示したのは、それぞれのビーズが自由運動することで衝撃吸収を行う粉粒体の特性であると考えられる。また、スチレンビーズは粒径が大きいことから粒子間力は小さい。そのため、ゴールボール衝突後の変形に対する復元力が弱く、低反発性に優れた値を示したと考えられる。

衝撃吸収性と低反発性との相関について、比例するとの報告もあるが¹⁴⁾、衝突物の物性によって異なるとするものもある¹³⁾。本計測で衝撃吸収性と低反発性との相関がみられなかった原因として、衝撃試験機における衝突物が重錘や鉄球ではなくゴールボールであり、衝撃吸収が試験片によるのみ行われたのではなく、天然ゴム製のゴールボールによるゴム弾性が衝撃吸収に作用した可能性が考えられる。また、「試験片なし」の条件において、最大衝撃力が全条件の中で最も大きな値を示しているのに対し、

反発係数は最も小さな値を示していることから、衝撃によるゴールボールの変形量が反発係数に影響を及ぼしている可能性が示唆される。しかし、本計測ではボールの変形量を計測していないため、結論を述べるまでには至らない。

ゴールボールを衝突物として同様に最大衝撃力を計測する材料試験の結果が報告されているが¹⁵⁾、本計測の方が高い最大衝撃力を示した。この原因として考えられるのは気温の差である。ゴムやプラスチックなどの高分子物質は温度依存性が高く、温度が高くなると分子間力が弱くなり、分子の自由運動が活発化する。分子の自由運動は高分子物質の粘弾性に関係し、ゴムではゴム弾性に関係する。本計測は 12 月に実施したため計測室の室温が低く、試験片の粘弾性やゴールボールのゴム弾性が低下したことから衝撃吸収性も低下し、結果的に最大衝撃力が増したものと推察される。また、弾性が低下するということは、元の形状への復元力が低下するということでもあることから、低い室温下では反発係数が低い値を示すことが考えられる。これらの結果は、プロテクターの衝撃試験を夏に実施する場合と冬に実施する場合とで結果が異なることを示唆しており、特にプラスチックやゴムなどの高分子物質は気温によって特性が左右される場合も多く、高分子物質を用いたプロテクターの評価は高温環境と低温環境の双方で実施するべきであると考えられる。

ゴールボール専用プロテクターに必要な機能として動作性も重要であることは前項で述べたが、動作性にプロテクターの適合は必須である。スチレンビーズと低反発フ

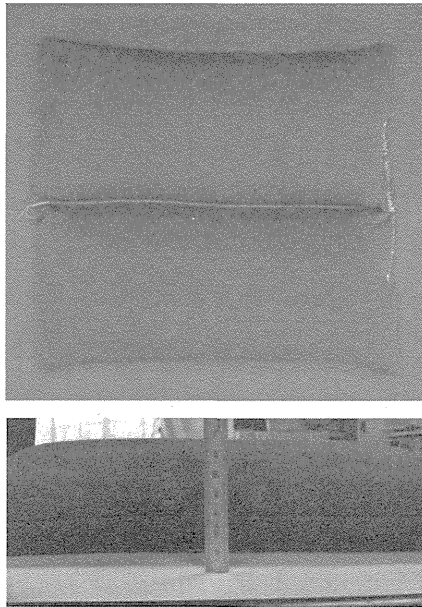


図 9 計測に用いた試験片
 (上段) 2セルに分けた試験片
 (下段) 平均厚さは68mmとした

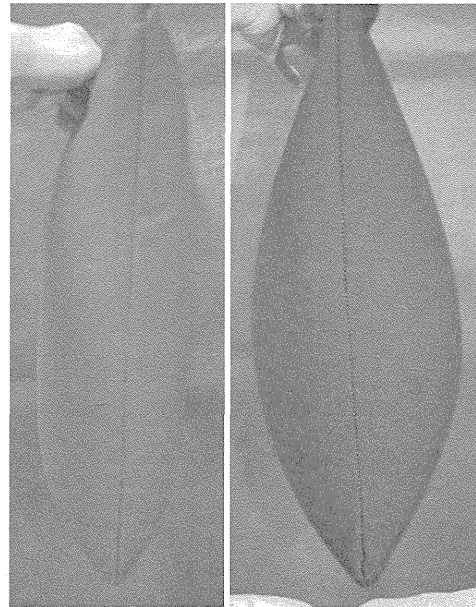


図 10 スチレンビーズの偏り
 (左) 2セル (右) 1セル

フォームのいずれが身体形状に適合しやすい材料かを考えると、シート材である低反発フォームに比して粉粒体であるスチレンビーズの方が形状変化に追随しやすく、装着する選手の体型に適合すると考えられる。また、プロテクターの軽量性を実現するには、低反発フォームよりスチレンビーズの方が適しており、本研究におけるプロテクターの衝撃吸収材には主にスチレンビーズを採用した。

3. プロテクターの試作

3-1. 粒径によるスチレンビーズの選択

3-1-1. 方法

計測方法は、「2. 衝撃吸収材の選定」で述べた衝撃試験と同様の方法とした。各試験片に注入するスチレンビーズを粒径別に①マイクロビーズ (粒径 0.5~1mm)、②ミニビーズ (粒径 2~3mm)、③デカビーズ (粒径 6mm 前後) とした。被覆材は 1 方向のみ

の伸縮性をもつポリエステル生地とし、1辺 350mm 四方のポリエステル生地 2 枚を縫い合わせたものを 2 つのセルに分け、それぞれのセルに平均厚さ 68mm となるように各ビーズを注入した (図 9)。各ビーズを 2 つのセルに分割して注入することによって、スチレンビーズの移動と偏りによる厚みと形状の変形を防止した (図 10)。結果は SPSS Statistics 21 (日本 IBM) を用いて Kruskal-Wallis 検定およびペアごとの比較を行った。

3-1-2. 結果

結果を図 11, 図 12 に示す。最大衝撃力、反発係数ともにマイクロビーズが最も低く、マイクロビーズとデカビーズの間には有意差が認められた ($P < 0.01$)。また、粒径が大きくなるほど最大衝撃力および反発係数も大きな値を示す傾向がみられた。

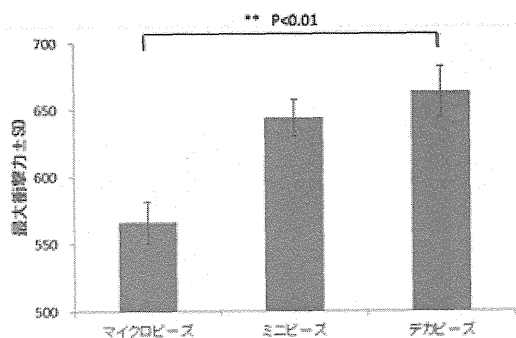


図 11 最大衝撃力 (粒径別)

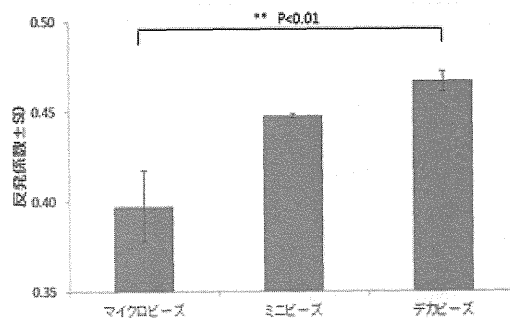


図 12 反発係数 (粒径別)

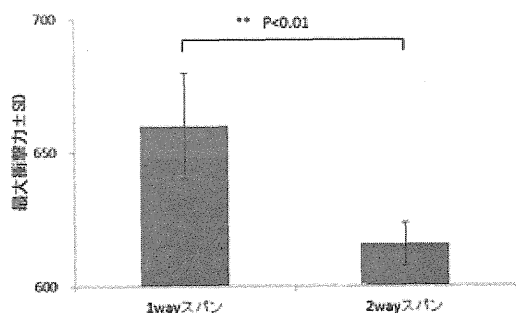


図 13 最大衝撃力 (被覆材別)

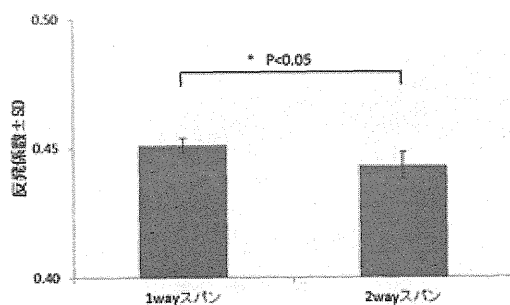


図 14 反発係数 (被覆材別)

3-1-3. 考察

計測結果から、3つのビーズの中ではマイクロビーズが最大衝撃力、反発係数ともに最も小さな値を示し、プロテクターとしての機能に最適であると考えられる。しかし、マイクロビーズは粒径が小さく、被覆材に少しの傷でもあればマイクロビーズが外に漏れ出してしまう危険性が高い。マシン針の太さとマイクロビーズの粒径はほとんど同じで、マシンの縫い目を強く引っ張るとマイクロビーズが外に漏れ出した。本研究で試作するプロテクターを用いる選手は視覚障害を有しているため、ビーズが漏れ出す傷があっても気づきにくく、競技中に破損すればビーズが床に散らばり、非常に危険である。したがって、プロトタイプのプロテクターに用いるスチレンビーズはミニビーズ (粒径 2~3mm) が妥当と考えら

れた。

3-2. 被覆材の選択

3-2-1. 方法

一般にビーズクッションの被覆材には伸縮性をもつポリエステル生地が用いられるため、本計測においてもポリエステル生地を用いることとした。伸縮性ポリエステル生地は編み方と伸び特性により、1方向にのみ伸縮性を持つもの (1way スパンテックス) と2方向に伸縮性を持つもの (2way スパンテックス) がある。本計測では、①1way スパンテックスと②2way スパンテックスを被覆材に用いた場合の衝撃吸収性を定量化した。試験片は 170mm×340mm に切った被覆材 2 枚を縫い合わせ、2 セルに分割し、それぞれのセルにミニビーズを注入した。ビ



図 15 投球動作中リリース時
軸足側股関節は深屈曲している



図 16 ディフェンス時の構え
股関節は深屈曲している

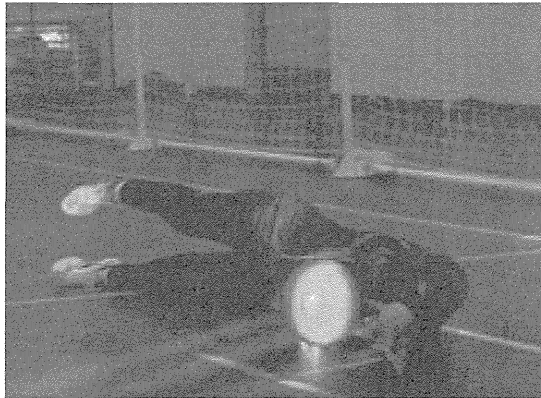


図 17 ボールのブロック動作
腋窩レベルより頭側のボールは体幹部
ではなく上肢でのブロックとなる

ーズの注入量は、セルの容積にミニビーズのかさ密度 $0.015\text{g}/\text{cm}^3$ を乗じたものとした。

3-2-2. 結果と考察

結果を図 13, 図 14 に示す。最大衝撃力、反発係数ともに 2way スパンテックスが有意に低かった。1way スパンテックスではスチレンビーズの衝撃吸収に係る移動を許容できないことが考えられる。したがって、試作プロテクターの被覆材には 2way スパンテックスが有効と考えられる。

3-3. デザインの検討

プロテクターのデザインは、動作性に関係すると考えられる。プロテクターの基本的機能である安全性を確保しながら、オフense時の投球動作を妨げないトリミングラインを設定しなければならない。投球動作やディフェンス時の構えでは股関節が深屈曲するため（図 15, 16）、選手は野球用プロテクターを使用する場合、下端を短く加工するなどして、深屈曲動作を可能にしていた。試作プロテクターについても股関節深屈曲動作を妨げないように、前額面下縁は現在使用している野球用プロテクターと同じ臍レベルにトリミングラインを設定し

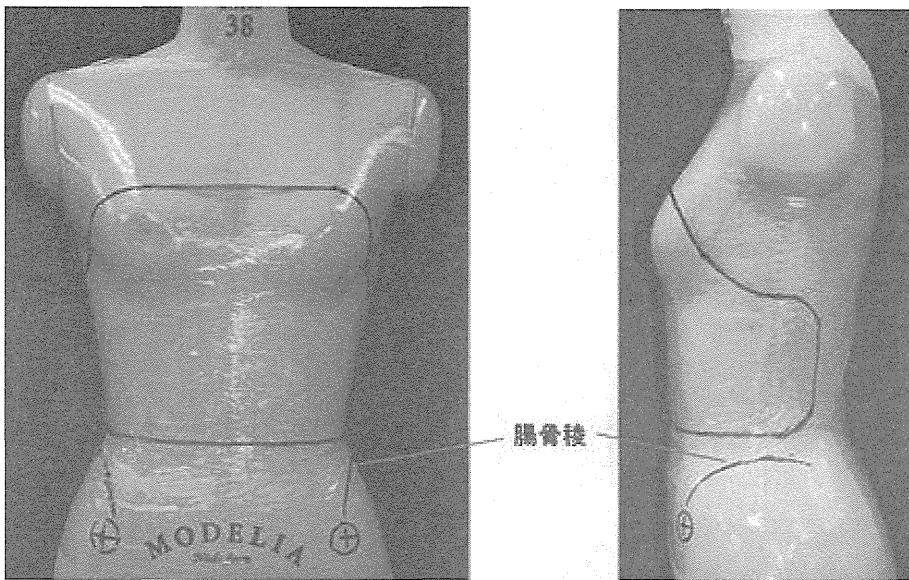


図 18 プロテクターのトリミングライン
(左) 前額面, (右) 矢状面



図 19 側臥位における腸骨稜の除圧原理
(左) 除圧しなければ, 床面と腸骨稜が衝突してしまう
(右) 腸骨稜近位に衝撃吸収材を設置することで床面との衝撃を緩和することができる

た。また、ディフェンス時は肘関節が顔面の前方にくるまで両肩関節を屈曲、軽度内転させるため、腋窩レベルより頭側のボールは体幹部ではなく上肢でブロックすることになる（図 17）。そのため、腋窩部や鎖骨下部に直径 25cm のボールが衝突することは考えにくく、大きな肩関節の動きが可能になるよう腋窩のトリミングラインは遠位 10cm、前額面上縁のトリミングラインは腋窩レベルとし、腋窩のトリミングライン

と前額面上縁のトリミングラインを滑らかにつなぐこととした（図 18）。側方部下縁のトリミングラインについては、ディフェンス時に側臥位になることで発生する腸骨稜と床面との衝撃を緩和するように設定する必要がある。義肢装具の製作においては、接触による疼痛の軽減には、接触部ではなく接触部の周囲に緩衝材を取り付け、接触部を除圧するのが定説である。したがって腸骨稜が床面に接触しないようにするため

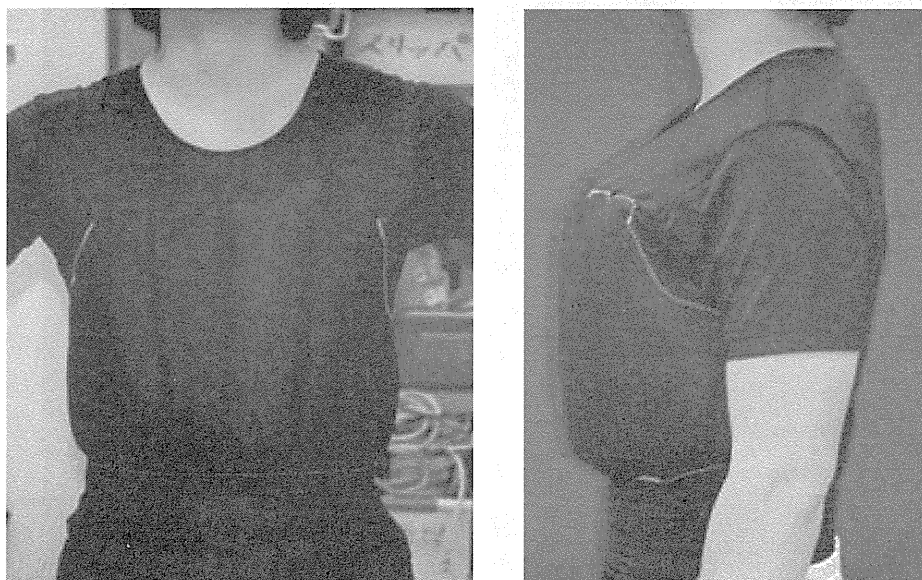


図 20 完成した試作プロテクター

に腸骨稜近位にトリミングラインを設定し、プロテクターの厚みでウエスト部のくびれを埋め、ディフェンス時の側臥位では腸骨稜でなく、プロテクターが床面に接触することで衝撃を緩和することとした(図 19)。

選手は競技時、プロテクターをインナーシャツとユニフォームの間に装着する。衣服 2 枚とプロテクターでは含気率が高くなり、衣服内環境が高温多湿になると考えられたため、プロテクターの緩衝材を T シャツに設けたポケットに挿入するタイプ(以下、T シャツ型)とした(図 20)。T シャツ型にするメリットは、アンダーシャツとプロテクターを一体化させることで重ね着する枚数が減ることのほかに、緩衝材が着脱できることで洗濯しやすくなること、コンプレッションシャツにすれば吸汗性に優れ、疲労が少なくなること、などである。

4. 試作プロテクターの力学的評価

4-1. 方法

「2. 衝撃吸収材の選定」で実施した衝撃

試験機による計測と同じ方法を用い、最大衝撃力と反発係数を計測した。計測対象は、①従来型プロテクター、②試作プロテクター、である。比較対照のためにプロテクターを使用しない場合(以下、「プロテクターなし」とする)も計測し、最大衝撃力および反発係数について、SPSS Statistics 21(日本 IBM)を用いて Kruskal-Wallis 検定およびペアごとの比較を行った。

4-2. 結果

最大衝撃力、反発係数について計測した結果をそれぞれ図 21、図 22 に示す。最大衝撃力は試作プロテクターがプロテクターを使用しない場合と比較し、有意に低い値を示した($P < 0.01$)。また、反発係数については従来型プロテクターがプロテクターなしの場合と比較し、有意に高い値を示した($P < 0.01$)。反発係数については、プロテクターを使用しない場合が最も低い値を示した。

従来型プロテクターは野球用プロテクタ

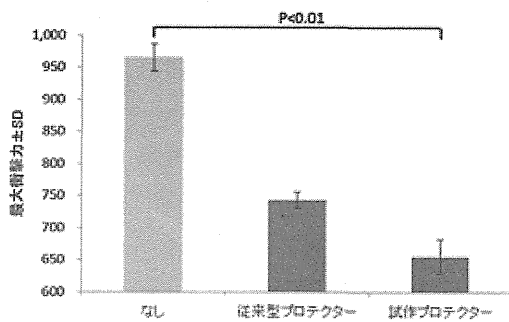


図 21 最大衝撃力 (プロテクター別)

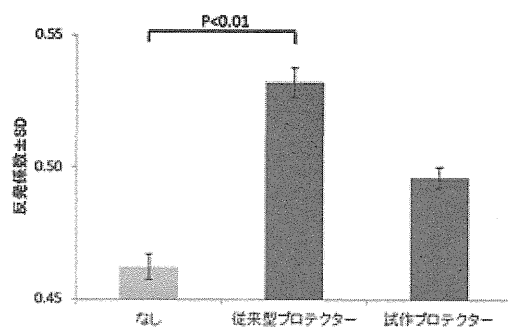


図 22 反発係数 (プロテクター別)

ーを上下に短く改良したものであり、衝撃吸収材に EVA (エチレン酢酸ビニルアセテート) が用いられていた。本研究で、EVA は衝撃吸収性、低反発性ともにゴールボールの衝撃吸収材としては機能が低いと考えられた。本計測においても、EVA を衝撃吸収材として用いている従来型プロテクターは、衝撃吸収性、低反発性ともに試作プロテクターより性能が低かった。

4-3. 考察

試作プロテクターについては、衝撃吸収性、低反発性ともにプロテクターなしと比較し、有意差が認められ ($P<0.01$)、従来型プロテクターに比して、明らかに効果が認められた。また、プロテクターなしの計測結果から、衝撃による変形量が大きい方が反発係数は小さくなることを示したが、試作プロテクターで最大衝撃力が小さく、反発係数も従来型プロテクターより小さい値を示したのは、衝撃によって移動したストレッチビーズの粒子は粒径が大きいことから粒子間力が小さく、元の場所に戻ろうとする復元力が小さいためと考えられる。

プロテクターなしでは、最大衝撃力は最も高い値を示すが、反発係数については最も低い値を示した。プロテクターなしでの

計測結果は、ゴールボールによってのみ影響を受けていることから、本計測結果はゴールボールの剛性に特徴があるためと考えられる。ゴールボールは力を加えることによって大きく変形するが、変形が大きくなれば大きくなるほど球形に復元しにくくなり (図 23)、一定の変形量を超えると復元しなくなる。野球のボールやゴルフボールは内部に芯材が入った中実球であるが、ゴールボールはバレーボールやテニスボールと同じく内部が空洞の中実球である。しかし、ゴールボールは内部の鈴の音がよく聞こえるように穴が上下各 4 か所に開けられているため、他の中空球のように空気圧で球形を維持することはできず、天然ゴムの

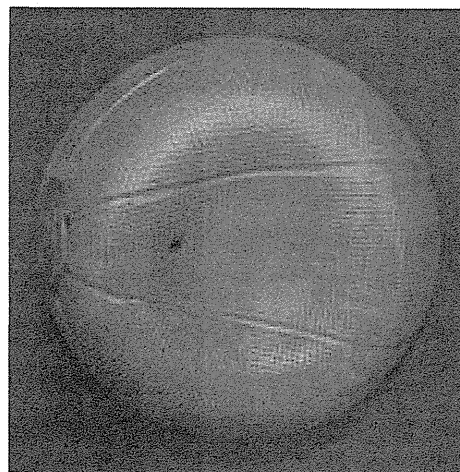


図 23 変形したボール

ゴム弾性により球形を維持している。したがって、強い衝撃力が加わることにより変形量が大きくなれば、復元能をゴム弾性のみ依存しているゴルフボールでは反発係数が低くなることが考えられる。

5. 試作プロテクターの生理学的評価

5-1. 方法

5-1-1. 着衣条件

計測の着衣条件を従来型プロテクターと試作プロテクターで同じにするため、試作プロテクターに用いたTシャツと同意匠、同サイズのを従来型プロテクターのアンダーシャツとして着用した。試作プロテクターと従来型プロテクターのアンダーシャツに用いたTシャツは、①A社製（87%ポリエステル，13%ポリウレタン）、②B社製（ポリエステル85%，ナイロン15%）の2種類とした。いずれのTシャツも吸汗・速乾機能を持つ高機能繊維が使用されており、ストレッチ機能を持っていた。それぞれのTシャツにおけるサイズの違いは縫製の上、補正した。その他の着衣条件についても共通とし、上半身は試作プロテクターまたは従来型プロテクターの上に野球用ユニフォームを着用し、下半身はショーツの上にハーフパンツ、ソックス、運動靴を着用した。

5-1-2. 環境条件

計測は2013年8月8日から8月9日にかけて、環境温度28℃、相対湿度60%の一定環境に保たれた早稲田大学所沢キャンパス運動生理学実験室で実施した。被験者は日常的に運動を実施している27歳の健康な女子1名であった。運動にはエアロバイ

クを用い、心拍数110回/分となるように運動負荷を調整した。

5-1-3. 計測箇所及び計測機器

計測箇所はプロテクターに覆われた胸部（胸骨剣状突起から2横指近位部）、腹部（臍から2横指近位部）、背部（両肩甲骨下角を結んだ中点）の3か所とした。計測箇所には身体皮膚表面にガーゼ1枚の上から温湿度計測用データロガー（KNラボラトリーズ製、測定範囲：-20℃～70℃，0%RH～95%RH）をセンサー部がプロテクター側を向くように伸縮テープで固定し、1分毎の温湿度を記録した。

5-1-4. 計測手順

被験者は運動開始1時間前にトレッドミル室に入室し、30分後にデータロガーを取り付けた後、20分間の安静座位、エアロバイクによる運動10分、休憩5分、エアロバイクによる運動10分、休憩10分を実施し、この間の温湿度を計測した。また計測後にはすべての着衣を着替え、次の計測まで30分間の回復時間を置いた。1日2回の計測を実施し、2日間で4条件各1試行ずつの計測を行った。

5-2. 結果

温度変化を図24に示した。胸部温度は運動開始直後に上昇がみられ、腹部温度は計測開始から計測終了まで緩やかに上昇を続けたが、いずれの部位でも各条件間に差はほとんど見られなかった。しかし、背部温度ではグラフの波形は各条件で似た傾向を示すも、値にばらつきがみられ、試作プロテクターでは従来型プロテクターに比べ、

低い値を示した。

湿度変化を図 25 に示した。胸部と腹部については、従来型プロテクターで A 社のアンダーシャツを着用した条件における計測で、計測開始時に他の条件に比べてかなり低い値を示したが、胸部では 25 分後に、背部では 20 分後に他の条件と同じ湿度に収束した。各条件間でグラフの波形には特に違いが認められなかった。しかし、背部においては温度と同様にばらつきがみられ、従来型プロテクターと試作プロテクターとで異なる波形がみられ、試作プロテクターが従来型プロテクターに比べて低い値を示した。

5-3. 考察

温湿度ともに胸部、腹部では各条件間に差が認められなかった。身体活動時の衣服環境の不快感は、温冷感より湿潤感に依存するとの報告もあるが^{16, 17)}、背部では試作プロテクターが従来型プロテクターに比して温湿度ともに低い値を示した。これらの原因は、試作プロテクターには背部バンドがないのに対し、従来型プロテクターには背部バンドがあるためと考えられ、少しの重ね着でも温湿度に影響を与えることが示唆された。

Tシャツの素材の違いに関しては温湿度ともに差がみられなかったため、本計測に用いた素材が同等の性能を持つことが考えられる。しかし、快適性はプロテクターを着用している選手の主観的評価によるところが大きく、肌離れなど着用している本人にしか分からない評価尺度¹⁸⁾もある。快適性については、選手の主観的評価の結果を待たずに結論を述べることはできないが、

本計測の結果から、素材の違いではなく重ね着の多さの方が衣服内環境に影響を及ぼしていると考えられる。

6. 試作プロテクターの主観的評価

6-1. 方法

ゴールボール日本代表女子選手 2 名に試作プロテクターを 2 週間貸与し、プロテクターに対する主観的評価を依頼した。選手の IBSA 視覚クラシフィケーション^{19, 20)} (表 5) は 1 名が B1 (全盲)、1 名が B3 (視野狭窄) であった。対象者 2 名は、研究 (計測) 場所である国立障害者リハビリテーションセンターにおいて週 1 回、日常的に練習を行っており、試作プロテクターの装着説明や適合調整を行いやすかった。試着期間の 2 週間が経過した後に装着状況に関するインタビュー調査を実施した。インタビュー内容については録音したのち、安全性 (衝撃吸収性)、動作性、快適性、低反発性、装着しやすさ、の項目に分けてまとめることとした。

6-2. 結果

以下に選手の意見をまとめた。選手の意見を引用した部分については、ゴシック体で記載した。

6-2-1. クラシフィケーション B1 選手

「試作プロテクターはプロテクター装着時に衝撃吸収材の脱着が必要であり、その作業は非常に困難だったため、装着できなかった。」と回答した。

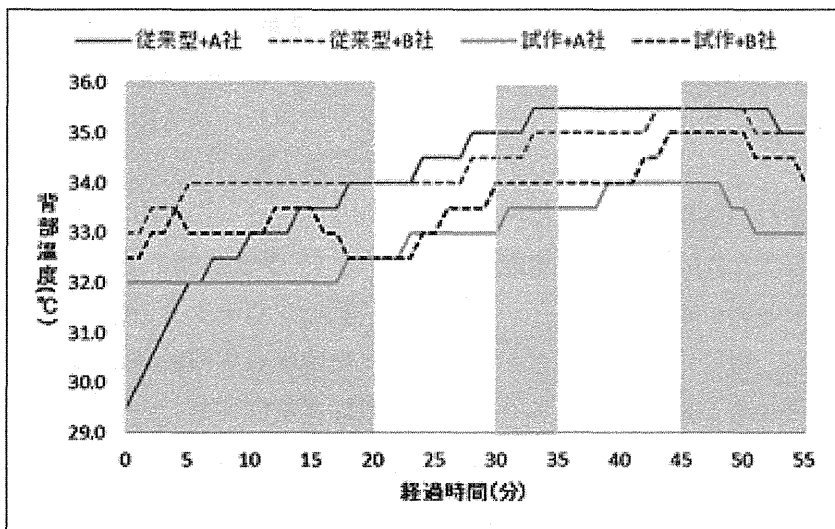
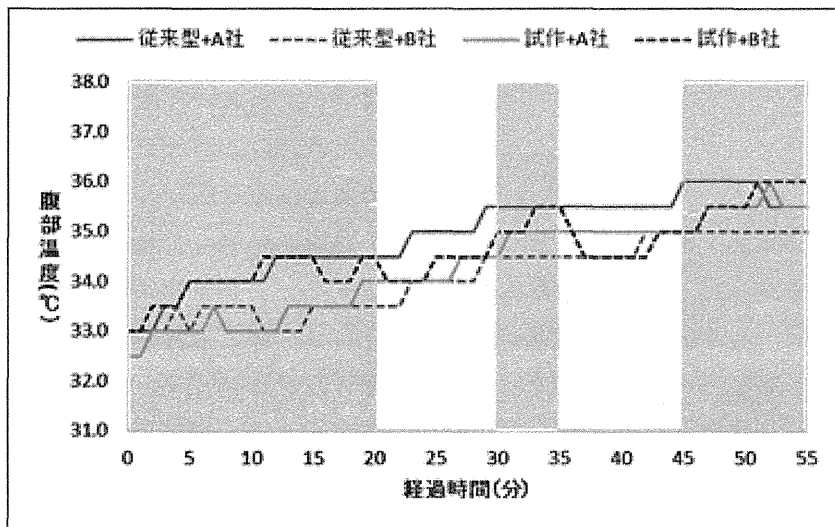
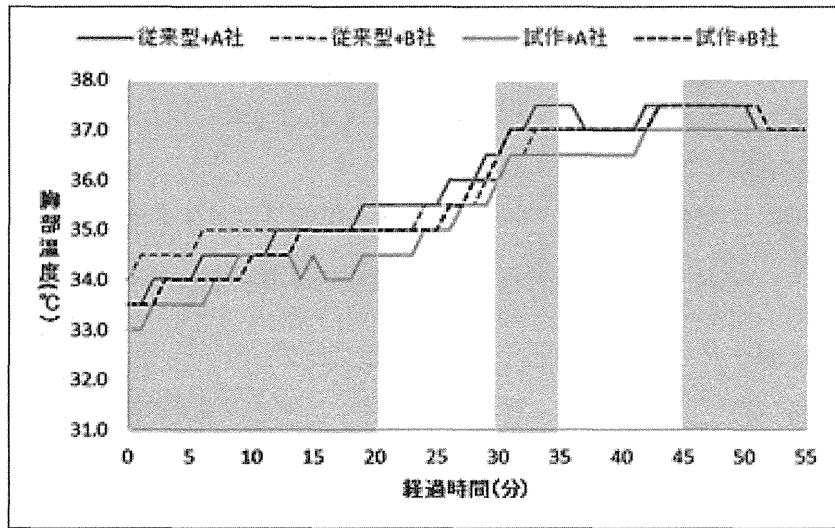


図 24 各部位における温度 (水色の部分は休憩時間)
 (上) 胸部, (中) 腹部, (下) 背部

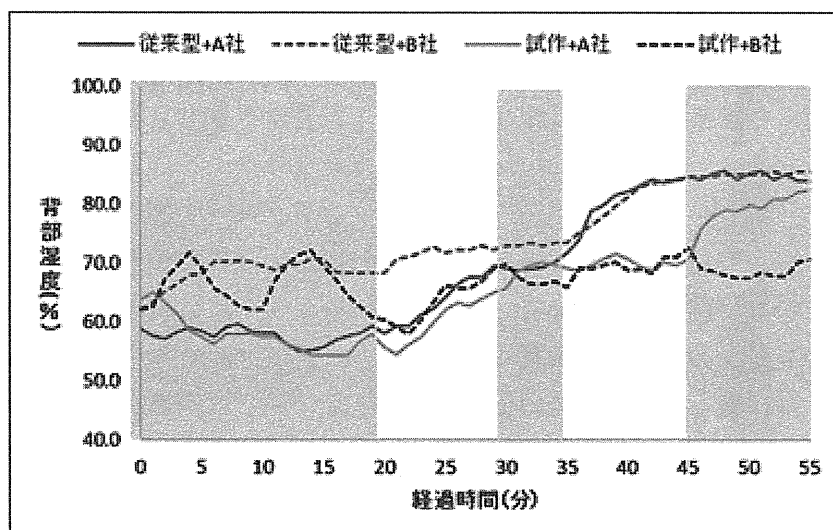
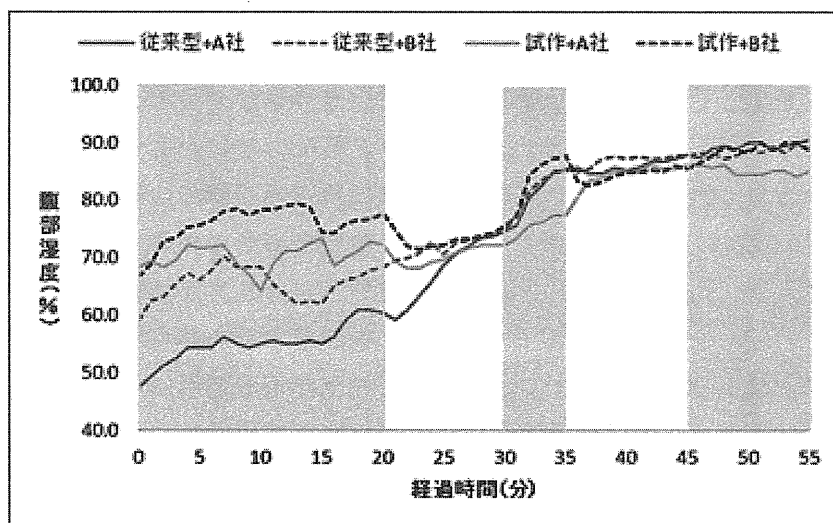
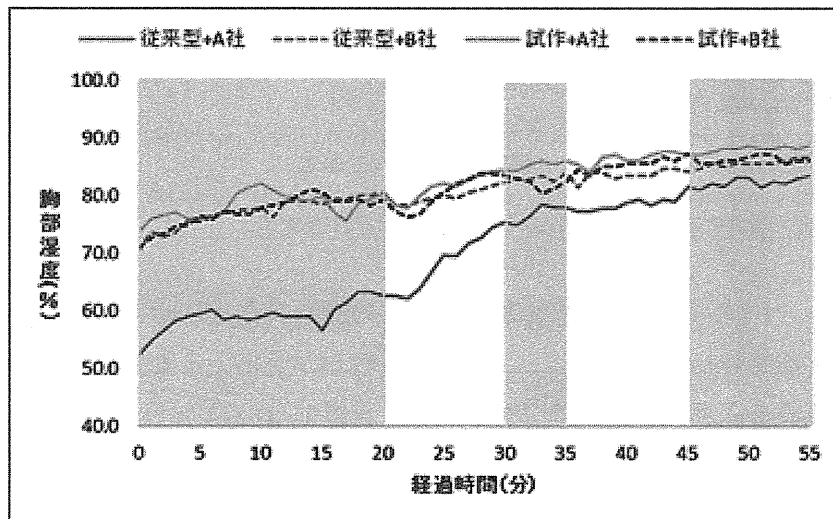


図 25 各部位における湿度（水色の部分は休憩時間）
 (上) 胸部, (中) 腹部, (下) 背部

表 5 IBSA クラシフィケーション

B1	Visual acuity poorer than LogMAR 2.60. 視力が光覚より低いもの。
B2	Visual acuity ranging from LogMAR 1.50 to 2.60 (inclusive) and/or Visual field constricted to a diameter of less than 10 degrees. 光覚から視力0.03まで、かつ/あるいは視野狭窄半径5度未満。
B3	Visual acuity ranging from LogMAR 1.40 to 1 (inclusive) and/or Visual field constricted to a diameter of less than 40 degrees. 視力0.04から視力0.1まで、かつ/あるいは視野狭窄半径20度未満。

6-2-2. クラシフィケーション B2 選手

(1) 安全性（衝撃吸収性）

「衝撃時の痛みの程度については、従来型プロテクターとあまり違いを感じなかったが、体幹部での感じ方、当たり方には違いを感じた。従来型プロテクターでは体幹全体に衝撃を感じるが、試作プロテクターではボールの形を感じる。どちらが痛いというより、今まで使用しているプロテクターとの違いが大きく、慣れが必要であると思う。」

(2) 動作性

「プロテクターのトリミングラインについては、問題ないと思う。骨盤部や下腹部、大腿骨大転子部への衝撃はスパッツで対応できる。動作性については、当初腋窩部分に厚みを感じたが、プレイしていると全く気にならず、問題にならなかった。重くはなかったが軽くも感じられなかった。」

(3) 快適性

「暑さは感じなかった。コンプレッションシャツは着ていない選手も多くいて、選手自身もコンプレッションシャツは夏に着ると暑いので、冬に着るようにしている。コンプレッションシャツに少し硬めの波状材は着心地としては良くなかった。」

(4) 低反発性

「反発性については、試作プロテクターのほうが小さいような気もするが、あまり違いを感じない。」

(5) 装着しやすさ

「アンダーシャツに衝撃吸収材を取り付けるタイプだと、着替えの度に衝撃吸収材の脱着作業が増える。晴眼者であればそれほど苦ではないかもしれないが、視覚障害者に衝撃吸収材の脱着作業は困難であるため、改善が必要である。ビブスに衝撃吸収材を取り付けた方が着替えのたびに衝撃吸収材を脱着する必要もなくなるのではないかと。視覚障害者選手に今までの方法とあまりに異なる着用方法を求めるのは、（視覚による情報収集ができないことから）難しいと思う。」

6-3. 考察

視覚クラシフィケーション B1 の選手がプロテクターを装着しなかったのは、試作プロテクターの装着には衝撃吸収材の取り付けという作業が必要であり、かつ、視覚障害者選手には困難な作業であったためであった。プロテクターの洗濯についても、洗濯のたびに衝撃吸収材を脱着しなければならず、視覚障害者には困難である。したがって、できるだけ洗濯を必要としない、あるいは洗濯方法が簡便なプロテクターが必要とされていることが明らかとなった。

ゴールボール日本代表選手は全員 ADL が自立しており、ゴールボールに関する身の回りの準備や片付けなどは選手自身で行う。そのため、全盲の選手でも扱いやすいプロテクターを製作しなければ、装着率の向上は望めないと考えられる。

衝撃吸収性に対する評価が低かったのは、従来型プロテクターが主に衝撃（圧）分散構造により衝撃力を減衰しているのに対し、試作プロテクターは主に衝撃（圧）吸収構造により衝撃力を減衰しているためだと推測する。衝撃力の減衰には、原理の異なる 2 つの材料を組み合わせ使用したほうが良いとする報告もあり¹²⁾、スチレンビーズだけではなく衝撃分散構造を持つ材料を併用することが有効であると推測される。

コンプレッションシャツが使用されていないことの原因について考えられるのは、情報の不足である。今回インタビュー調査を実施した視覚クラシフィケーション B2 の選手は、コンプレッションシャツに吸汗・速乾性があるため主に夏のスポーツに使用されていることや、疲労の軽減効果があることを知らなかった。視覚障害者は視覚的な情報入力がない、あるいは少ないために、指導者側からのスポーツ用具等の情報発信も重要であると考えられる。

選手の主観的評価から、トリミングラインや動作性に問題はないものの、衝撃吸収性、着心地、装着しやすさに問題がみられた。また、衝撃吸収材は脱着式ではなく、取り付けのまま使用できるように改善し、衝撃吸収性の向上についても材料のハイブリッド方式など、さらなる工夫が必要と考えられた。

C. 総合考察

本研究では、ゴールボール専用プロテクターの開発を目的として、プロテクターに必要な機能についての調査、プロテクターに使用する衝撃吸収材についての材料試験、プロテクターの試作・評価を実施した。そこで得た結果についての考察を以下のとおりまとめる。

ゴールボール専用プロテクターに求められる機能は、インタビュー調査の結果から、①安全性（衝撃吸収性）、②動作性、③快適性、④低反発性とし、試作・評価を進めてきた。一般的にプロテクターの基本的機能は文字どおり身体の保護であると考えられるが、選手がゴールボール専用プロテクターに期待しているのはそれら安全性ではなく、動作性や低反発性などの競技性に直結するものだった。しかし、選手がプロテクターを必要としている理由は、プロテクターの機能として求められなかった「痛みの軽減」に関するものがほとんどであり、選手自身もプロテクターの基本的機能が「痛みの軽減」だと考えていることが推察される。本研究の対象者がロンドンパラリンピック日本代表女子選手だったために、勝利という結果を求める傾向が強く見られたと考えられるが、スポーツ傷害の受傷により、競技パフォーマンスの低下や選手生命に危機が及ぶ可能性もある。スポーツ基本法の理念である障害者スポーツの競技水準の向上を実現するためには、選手の安全性を確保しつつ、選手の求める機能をプロテクターに付加する必要性が認められた。

しかし、プロテクターに求められるものはゴールボールに特化した機能だけではなく、装着のしやすさや手入れのしやすさな

ど、視覚障害を持った選手が扱うモノとしての機能も重要である。本研究で追求したゴールボール専用プロテクターの機能は、プロテクターを装着して初めて効果を発揮できることから、装着のしやすさ、手入れのしやすさなどはプロテクターの4つの機能以上に実現しなければならない条件であることが明らかとなった。

プロテクターに使用する衝撃吸収材はプロテクターの機能のうち、衝撃吸収性、低反発性に大きく影響するが、本研究では、自作の衝撃試験機による材料試験の結果から、スチレンビーズを使用することとした。スチレンビーズの粒径は小さいほど最大衝撃力が小さく、反発係数は小さいことが明らかとなった。粉粒体は、粉粒体を構成している粒子の粒径が小さくなるほど粒子間力は大きくなることから、粒径0.5~1mmのスチレンビーズは衝撃吸収のための粒子の移動が適度に行われていることが考えられ、逆に粒径が大きいスチレンビーズでは粒子の移動が大きくなり、ボールが底付きしたものと考えられる。しかし、粒径の小さなスチレンビーズは加工性が悪く、被覆材から流出するという破損可能性も高いため、本研究では粒径2~3mmのスチレンビーズの採用が妥当だと判断した。

ゴムやプラスチックなどの高分子物質は、一般に温度依存性が高いとされており、粘弾性やゴム弾性は低温環境下で低下する。本研究の計測においても冬季の計測の方が最大衝撃力は大きくなることが示唆されたが、天然ゴム製のゴールボールや高分子物質である発泡樹脂製の衝撃吸収材は、低温環境下では弾性が低下し、衝撃吸収性が低下することが考えられる。しかし、本研究

で採用したスチレンビーズは粒子であるビーズの移動によって衝撃を吸収していることから、温度変化による影響を受けにくいと考えられる。さらに詳細な計測が必要ではあるが、スチレンビーズは気温に左右されず、安定した衝撃吸収性能を持つ素材であると考えられた。

スチレンビーズの被覆材については、1方向に伸縮する生地に対して2方向に伸縮する生地の方が衝撃吸収性及び低反発性に優れた値を示したが、このことからスチレンビーズの粒子間力を被覆材が補完していると考えられる。すなわち、スチレンビーズの移動量は被覆材の伸縮性に影響を受けるため、伸縮性をもたない被覆材では粉粒体の粒子の移動という特性を活かすことができないと考えられた。したがって、本研究では2方向に伸縮するポリエステル生地を被覆材として採用した。

試作プロテクターはプロテクターを使用しない場合に比べ、最大衝撃力が有意に減少し、従来型プロテクターと比べても最大衝撃力、反発係数がともに減少していた。したがって数値的には試作プロテクターが従来型プロテクターに比して、ゴールボール専用プロテクターとしての機能が高いという結果だったが、選手の主観的評価は、痛みの程度については従来型プロテクターとの違いをあまり感じず、低反発性についてもあまり違いを感じない、というものだった。また、衝撃を感じる範囲について、試作プロテクターと従来型プロテクターでは大きく異なるという評価だった。衝撃を感じる範囲が異なるのは、スチレンビーズを主な衝撃吸収材とする試作プロテクターは圧吸収によって衝撃を吸収しているのに

対し、EVA を主な衝撃吸収材とする従来型プロテクターは圧分散によって衝撃を吸収しているからと考えられる。衝撃による痛みの要因は最大衝撃力だけではなく、衝撃持続時間や衝撃物との接触面積及び圧力なども考えられる。最大衝撃力は試作プロテクターの方が従来型プロテクターより低い値を示したものの、身体に加えられる最大圧力値や圧力が加わる部位の変化については本研究では計測できていない。選手の主観的評価からは、最大圧力値で試作プロテクターと従来型プロテクターに違いがない可能性が示唆された。しかし、プロテクターに加わる衝撃を計測できるような薄型の圧力センサで、プロテクターと同程度の大きさを持ち、衝撃を計測できるような高い周波数での処理が可能なものは現時点で存在しない。加圧するとインクにより発色するフィルムセンサもあるが、加圧だけでなく摩擦によっても発色してしまい、また圧力が加わる部位の変化の計測はできない。したがって現状では、衝撃吸収性の評価を衝撃試験と選手の主観的評価に頼らざるを得ない。

プロテクターの快適性については、背部では温度、湿度とも計測上は試作プロテクターの方が従来型プロテクターに比して低い値を示し、選手の主観的評価もプロテクターによる暑さは感じない、という回答であった。しかし、選手の主観的評価は9月にプロテクターを貸与して得たものであり、夏の体育館という暑熱環境における評価ではないことから、最もプロテクター内の換気性が求められる環境において通気溝が有効であるかの評価はできていない。また、通気溝を設けるための波状板によって試作

プロテクターは着心地が悪く、装着しづらいという評価であり、抜本的なデザインの見直しが必要である。したがって、快適性については今後のデザインにより大きく変化すると考えられる。本研究ではプロテクターの素材よりも幅 25mm の背部バンドの有無の方がプロテクター内の温湿度に影響することが示唆されており、重ね着をする状況下でも換気溝を設ける、あるいは衣服内に気流を発生させるなど、衣服内環境を快適にする方策を考案していかなければならない。

スチレンビーズは衝撃吸収による緩衝作用であるが、衝撃分散構造も取り入れることにより、衝撃吸収性については主観的評価の向上が期待できると考えられる。また、プロテクターのデザインは、視覚障害選手が装着しやすく、扱いやすいものとするため、今後、抜本的な改良をしなければならず、動作性と快適性の評価はデザインの改良後に再度実施する必要がある。

D. 結論

ゴールボール用プロテクターを開発するための基礎データを収集し、プロテクターを試作、評価を実施した。本研究では主な衝撃吸収材にスチレンビーズを使用した、換気溝を持つTシャツ型プロテクターを考案し、ゴールボール日本代表女子選手の多くが使用している野球用プロテクターに比して機能的に優れていることが計測で明らかになった。しかし、試作プロテクターに対する選手の主観的評価は計測結果のとおりではなく、また、試作プロテクターが視覚障害選手には装着しにくいという事実も明らかとなった。

今後の予定であるが、まずスチレンビーズの衝撃吸収材に圧分散機能を持つ素材を加えることにより、圧分散と圧吸収による衝撃吸収材を考案する。また、選手の意見を積極的に取り入れながら、選手に扱いやすいデザインとしたい。

E. 研究発表

1. 論文発表

徳井亜加根, 梅崎多美, 北村弥生, 三ツ本敦子, 飛松好子. 障害者スポーツ選手(肢体不自由・視覚障害)におけるスポーツ傷害の実態. 日本臨床スポーツ医学学会誌; (投稿中).

2. 学会発表

- (1) 徳井亜加根, 高嶋孝倫, 梅崎多美, 北村弥生, 生長佳世子, 重松文, 中村好男, 飛松好子. ゴールボール用プロテクターの提案. 日本義肢装具学会誌;29(特別号):339. 2013.
- (2) 徳井亜加根, 梅崎多美, 北村弥生, 中村好男, 塩田琴美, 飛松好子. ゴールボール選手におけるスポーツ傷害とその予防について. 第23回日本障害者スポーツ学会抄録集:15. 2014.

F. 知的財産権の出願・登録状況

徳井亜加根. プロテクター. 特願2013-193883, 出願日 2013-09-19

参考文献

- 1) Nabhani Farhad, Bamford James. Mechanical testing of hip protectors. Journal of Materials Processing Technology;124(3):311-318. 2002.
- 2) vanSchoor N. M., vanderVeen A. J., et al. Biomechanical comparison of hard and soft hip protectors, and the influence of soft tissue. Bone;39(2):401-407. 2006.
- 3) Laing Andrew C., Feldman Fabio, et al. The effects of pad geometry and material properties on the biomechanical effectiveness of 26 commercially available hip protectors. Journal of Biomechanics;44(15):2627-2635. 2011.
- 4) Li N., Tsushima E., et al. Comparison of impact force attenuation by various combinations of hip protector and flooring material using a simplified fall-impact simulation device. Journal of Biomechanics;46(6):1140-1146. 2013.
- 5) 新矢博美, 芳田哲也ほか. 高温下運動時の体温調節反応に及ぼすフェンシングユニフォームの影響: 現場調査および実験室的検討. 体力科学;52(1):75-88. 2003.
- 6) Woo Ji Hea, Gang Her Jin, et al. Development and Evaluation of a Novel Taekwondo Chest Protector to Improve Mobility When Performing Axe Kicks. Biology of Sport;30(1):51-55. 2013.
- 7) Willick S.E., Webborn N., et al. The epidemiology of injuries at the London 2012 Paralympic Games. British Journal of Sports Medicine;47(7):426-432. 2013.
- 8) Silva MPME, Duarte E., et al. Aspects of Sports Injuries in Athletes with

- Visual Impairment. *Revista Brasileira De Medicina Do Esporte*;17(5):319-323. 2011.
- 9) 徳井亜加根, 梅崎多美ほか. 障害者スポーツ選手(肢体不自由・視覚障害)におけるスポーツ傷害の実態. *日本臨床スポーツ医学会誌*; (投稿中). 2013.
- 10) 大野友則. 土木・建築工学分野における衝撃実験・計測法の現状と問題点. *実験力学*;2(4):235-242. 2002.
- 11) 石川信隆, 大野友則ほか. 基礎からの衝撃工学: 構造物の衝撃設計の基礎. 森北出版; 2008. viii, 241p p.
- 12) 田中正一, 蜂須賀研二ほか. 中敷材・踵材の衝撃緩衝効果. *リハビリテーション医学: 日本リハビリテーション医学会誌*;31(8):543-550. 1994.
- 13) Takeda T., Ishigami K., et al. The influence of impact object characteristics on impact force and force absorption by mouthguard material. *Dental Traumatology*;20(1):12-20. 2004.
- 14) 鷹股哲也, 橋井公三郎ほか. マウスガード材の衝撃荷重時の反発性能に関する実験的研究: 高速度カメラによる動体解析. *スポーツ歯学 = Journal of sports dentistry*;14(2):39-46. 2011.
- 15) 徳井亜加根, 高嶋孝倫ほか. ゴールボール用プロテクターの提案. *日本義肢装具学会誌*;29(特別号):339. 2013.
- 16) 平田耕造. 身体活動時の快適性とスポーツウェア. *デサントスポーツ科学* 12:12-32. 1991.
- 17) 長田泰公, 高野倉睦子ほか. 着衣・運動時における生理的反応と主観的応答との関係: パスモデルによる解析. *人間と生活環境*;4(1):34-41. 1996.
- 18) 平林由果, 菅屋潤壹ほか. スポーツウェア用編地の放熱特性, および肌離れ性に関する研究: 第2報:運動時の体温変化に及ぼす影響. *日本生理人類学会誌*;5(1):23-30. 2000.
- 19) IBSA (International Blind Sports Federation). Classification [2013-12-25]. Available from: <http://www.ibsasport.org/classification/>.
- 20) 陶山哲夫. 障害者スポーツ(パラリンピック)の概要. *日本義肢装具学会誌*;24(1):49-57. 2008.

Ⅲ-4 障害者座位滑走スポーツにおける競技力向上を目指したバケットシート適合に関する研究

研究分担者 中村 喜彦 (国立障害者リハビリテーションセンター研究所)
星野 元訓 (国立障害者リハビリテーションセンター研究所)
緒方 徹 (国立障害者リハビリテーションセンター研究所)

研究要旨

チェアスキー用バケットシートの適合のうち、身体の支持性に関して定量的手法を用いて検討を行った。対象者は C7 頸髄損傷者 1 名とした。その結果、前後方向の運動に関して、①体幹屈曲に伴う胸部パッドの前方回転と下方シフトを抑制することにより身体の支持性が向上することを明らかにした。加えて②それらの運動を抑制する新たな胸部パッドの構造を提案した。左右方向の支持性に関して、③背シート高と体幹可動域との相関関係を明らかにした。また④障害の程度に依存しない背シート高の上限値を提案すると共に、解剖学的特徴と併せて考察を行った。今後はユーザーの随意運動に関する運動の制御性についても定量的検討を行い、本結果と併せて考察を行うことが必要である。

A. 研究目的

チェアスキーは下肢機能障害者によって行われる障害者スポーツの一つであり、バケットシート、スキー板、フレーム、アウトリガーにより構成される。その中でも、バケットシートは身体の運動をスキー板に伝えると共に、雪面の状況をフィードバックする生体-器具インターフェースであり、バケットシートの適合状態が滑走に大きく影響を及ぼす。特に頸髄損傷などの重度障害者では、下肢機能障害に加えて体幹の姿勢保持機能も障害されているため、バケットシートへの依

存度は高く、確実に身体を支持することが重要である。しかしバケットシートの製作は、製作者の経験や使用者の主観的評価により製作されているのが現状であり、それぞれの障害特性に応じた製作指標はない。またバケットシートの適合に関して定量的に検討を行った報告も見当たらない。

本研究では、バケットシートへの依存度が高い重度障害者、特に頸髄損傷者に着目し、バケットシート適合の最適条件を定量的解析手法により明らかにすることを目的とする。また重度障害者が安全

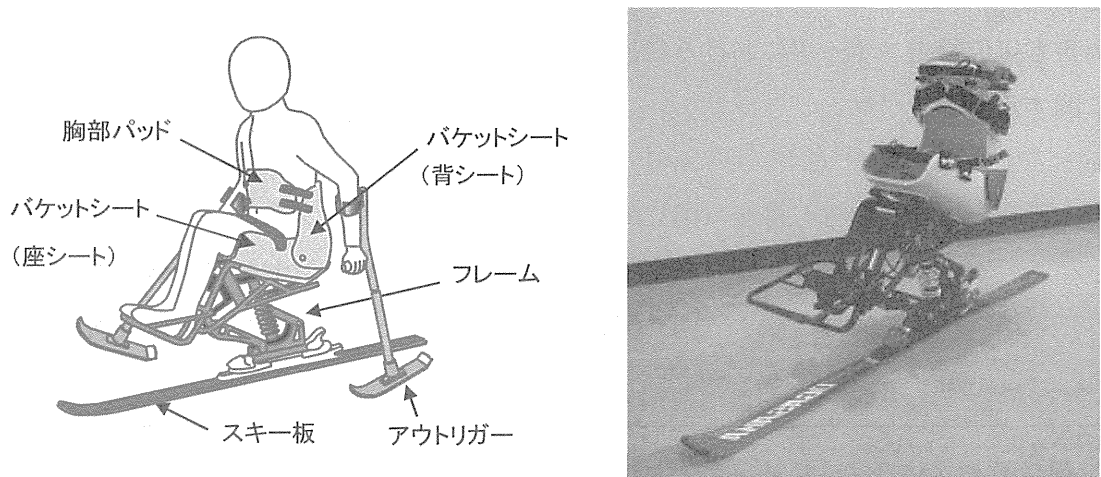


図1 チェアスキーの構成要素

かつ簡便にチェアスキーを楽しめる環境づくりを通して、チェアスキーの普及につなげることを将来的な目標とする。

B. 研究方法

一般的なスキーでは、複雑かつ微妙な身体運動によってスキー板を操作しながらバランスを保ち、スピード制御やターンを行っている。またターンでは身体を傾斜させてスキー板をエッジングしつつ、次のターンまでに大きく体重心を移動させてエッジを切り換えている¹⁾。チェアスキーにおいても同様であり、体重心の移動によりエッジを切り換えながらスピード制御やターンを行っている²⁾ (図1)。しかしチェアスキーを楽しむ障害者では、機能障害を代償するために身体を確実に支持することが先決であり、特に姿勢保持機能も障害された頸髄損傷者では身体の支持が更に重要となる。その上で残存機能を利用して体重心の移動を行い、ス

キー板を操作することになる。すなわち円滑な滑走を行うには、運動の拘束である身体の支持性と、運動の許容である運動の制御性のバランスが重要となる。身体の支持性を向上させることにより機能障害は代償されるものの、過度に身体を支持した場合には体重心の移動が困難となり、円滑な滑走を妨げることになる。従って、必要最低限の支持性を確保しつつ、体重心移動に必要な随意運動を妨げないバケットシートが求められる。

本研究では、身体の支持性と運動の制御性を最適なバランスで兼ね備えたシートを適合したバケットシートと仮定し、屋内での身体の支持性と運動の制御性に関する検証実験を通して、バケットシート適合に関する最適条件の抽出を行う。

次に、これらの検証試験結果に基づいたバケットシートを試作し、スキー場において実環境下での検証実験を行う (図2)。今年度については、バケットシート